

Хохлов М.Е.

ОТВЕРЖДЕНИЕ СТЕРЖНЕВЫХ ПОЛИМЕРНЫХ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ МИКРОВОЛНОВОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Аннотация. В данной работе представлены результаты теоретических и экспериментальных исследований в области термообработки полимерных композиционных материалов с использованием микроволнового излучения. Такие технологии являются наиболее эффективными, энергосберегающими и экологически чистыми, что отражает актуальность поставленной работы. Изделия из полимерных композитных материалов широко используются в различных отраслях промышленности. Предложена новая конструкция микроволновой установки для отверждения полимерного композиционного материала в виде стержня, диаметром 40 мм при температуре +180°C на частоте колебаний электромагнитного поля 2450 МГц. Установка состоит из двух разных по конструкции электродинамических систем, имеющих взаимодополняющее распределение температуры по поперечному сечению стержня. Предложены модель и метод расчета микроволновой установки и технологического режима термообработки материала стержня. Расхождение теоретических и экспериментальных значений температуры по поперечному сечению стержня не превышало 5%, а отклонение температуры в материале стержня от номинального значения температуры стержня не превышало 7%.

Ключевые слова: Микроволновая установка; Композитные материалы; Отверждение полимерных стержней.

Abstract. This paper presents the results of theoretical and experimental research in heat treatment of polymer composite materials using microwave radiation. These technologies are the most efficient, energy-saving and environmentally friendly, reflecting the relevance of the work delivered. Products from polymeric composite materials are widely used in various industries. New design of microwave unit for curing the polymer composite in the form of a rod with a diameter of 40 mm at a temperature of +180 ° C on the electromagnetic field frequency oscillations of 2450 MHz. The installation consists of two different designs of the electrodynamic systems with complementary temperature distribution over the cross section of the rod. The proposed model and method of calculation of the microwave setup and the technological mode of heat treatment of web material. The discrepancy between theoretical and experimental values of temperature at the cross section of the rod does not exceed 5%, and the temperature deviation in the material of the rod from the nominal value of the temperature of the rod does not exceed 7%.

Keywords: Microwave installation; Composite materials; Curing of polymer rods.

Введение

В настоящее время все более широкое распространение получили производственные технологии термообработки полимерных композиционных материалов на основе углеродного, базальтового и стекловолокна [1]. Композиционные полимерные материалы используются в различных отраслях промышленности: строительство зданий, мостов и дорог, машиностроение,

самолетостроение и космические летательные аппараты. В строительной индустрии широкое распространение получила стеклопластиковая арматура, которая обладает малым удельным весом, высокой химической стойкостью и прочностью, не подвержена коррозии и имеет низкую теплопроводность [2].

Передача тепла традиционными методами полимерным композиционным материалам приводит к возникновению перепада температуры, что может приводить к различным дефектам внутренней структуры материала, снижению прочности и долговечности изделия [3].

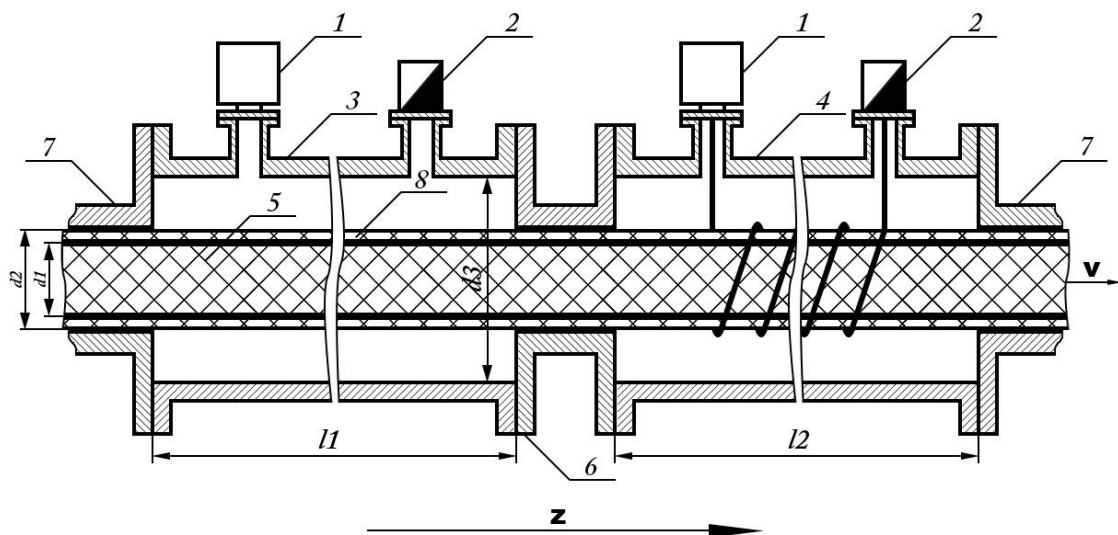
Применение микроволнового излучения в современных технологиях термообработки полимерных композиционных материалов, позволит обеспечить качественно новый уровень их производства, характеризующийся экологической чистотой, высокой энергетической эффективностью и скоростью технологических процессов [4-5].

Основное преимущество микроволновых технологических процессов термообработки полимерных композиционных материалов состоит в том, что энергия микроволнового излучения мгновенно проникает на всю глубину полимерного композиционного материала, независимо от его теплопроводности и не нагревает окружающее воздушное пространство. Равномерный нагрев по объёму полимерного композиционного материала приводит к повышению его прочности и долговечности. Влияние микроволнового излучения на полимерное связующее композиционных материалов, например, эпоксидные смолы, приводит к изменению внутренней структуры материала, которая становится более плотной и прочной [6].

Конструкция микроволновой установки и методика эксперимента

В настоящей работе предложена конструкция микроволновой установки для отверждения стержней из полимерных композиционных материалов, диаметром 40 мм на рабочей частоте колебаний электромагнитного поля 2450 МГц. Номинальное значение температуры для процесса отверждения стержней из полимерного композиционного материала составляло +180°C.

На Рисунке 1 представлен общий вид микроволновой установки. Она состоит из двух последовательно расположенных разных конструкций электродинамических систем [7-8]. Электродинамические системы обеспечивают равномерное распределение температуры по поперечному сечению материала стержня.



1 – источник микроволновой – энергии; 2 – согласованная нагрузка; 3 – круглый волновод; 4 – замедляющая система типа «спираль»; 5 – диэлектрический стержень; 6 -запредельный волновод между электродинамическими системами; 7 – запредельный волновод; 8 – труба из теплоизоляционного материала с малыми диэлектрическими потерями; d1 – диаметр трубки из теплоизоляционного материала с малыми диэлектрическими потерями; d2 – диаметр диэлектрического стержня; d3 – диаметр круглого волновода; l1 – длина круглого волновода; l2 – длина замедляющей системы типа «спираль»; v – скорость движения стержня.

Рисунок 1 – Микроволновая установка термообработки стержневых материалов

Микроволновая установка работает следующим образом. Сформированный стержень из полимерного композиционного материала 5 поступает в круглый волновод 7. Конструкция круглого волновода 7 препятствует выходу микроволнового излучения из микроволновой установки и обеспечивает безопасную работу обслуживающего персонала. Затем изделие в виде диэлектрического стержня поступает в электродинамическую систему типа круглый волновод 3, протяженностью l1. В круглом волноводе 3 распространяется основная волна типа E_{01} . Мощность от источника микроволнового излучения 1 поглощается материалом стержня на длине электродинамической системы типа круглый волновод. Неиспользованная мощность микроволнового излучения поступает в согласованную водяную нагрузку 2, в которой расположен датчик регистрации проходящей мощности для контроля технологического процесса. В электродинамической системе типа круглый волновод диэлектрический материал стержня приобретает максимальное значение температуры на оси круглого волновода и снижение температуры по радиусу к внешней поверхности диэлектрического материала стержня. Между первой и второй

конструкциями электродинамических систем имеется развязывающее устройство в виде участка круглого волновода 6, которое препятствует прохождению микроволнового излучения из первой электродинамической системы во вторую электродинамическую систему и из второй электродинамической системы в первую электродинамическую систему. Затем диэлектрический стержень входит во вторую электродинамическую систему – замедляющую систему в виде спирали 4, протяженностью 12. Мощность от источника микроволнового излучения поглощается диэлектрическим материалом стержня на длине замедляющей системы в виде спирали. Неиспользованная энергия микроволнового излучения поступает в водяную нагрузку, где расположен датчик регистрации проходящей мощности для контроля технологического процесса. Замедляющая система в виде спирали формирует максимальное значение температуры на внешней поверхности диэлектрического материала стержня и снижение температуры по радиусу к оси материала стержня. Результирующее распределение температуры по поперечному сечению материала стержня от двух электродинамических систем микроволновой установки должно удовлетворять требованиям технологического процесса. На выходе из микроволновой установки стержень из полимерного композиционного материала проходит через круглый волновод 7, который препятствует выходу микроволнового излучения из микроволновой установки и обеспечивает безопасную работу обслуживающего персонала.

Для эффективного отверждения материала стержня и повышения коэффициента полезного действия микроволновой установки, стержень помещен в диэлектрическую трубу из радиопрозрачного и теплоизоляционного материала, – фторопласта. Труба из фторопласта позволяет избавиться от теплоотдачи в окружающее пространство, а её протяженность и скорость движения стержня соответствует времени отверждения полимерного композиционного материала стержня.

Метод расчета распределения температуры по длине и поперечному сечению диэлектрического материала стержня основан на том, что диэлектрические параметры материала стержня линейно изменяются с ростом температуры [8]. Это положение основано на многочисленных экспериментальных исследованиях изменения диэлектрических параметров полимерных материалов с ростом температуры на частоте колебаний электромагнитного поля 2450 МГц [8]. Показано, что в широком интервале температур, диэлектрические параметры обрабатываемого материала, в

частности, эпоксидного связующего, линейно возрастают с ростом температуры. Предложена модель электродинамической системы микроволновой установки в виде нагруженной длинной линии с граничными условиями. Граничное условие состоит в том, что мощность микроволнового излучения полностью поглощается материалом стержня на длине каждой электродинамической системы.

Результаты

На Рисунке 2 приведены результаты теоретических и экспериментальных исследований распределения температуры по радиусу поперечного сечения диэлектрического стержня, диаметром 40 мм.

Из экспериментальной зависимости распределения температуры по поперечному сечению стержня следует, что на внешней поверхности и на оси стержня температура равна $+180^{\circ}\text{C}$. Максимальное отклонение температуры стержня от номинального значения температуры не превышало 8°C .

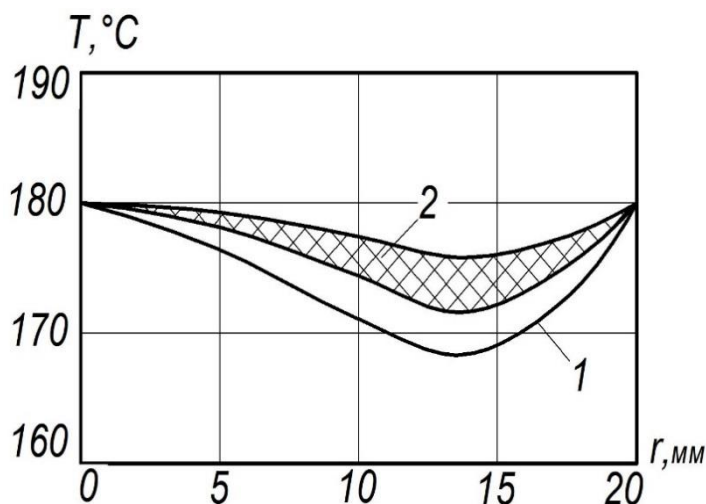


Рисунок 2 – Теоретические (1) характеристики распределения температуры по радиусу поперечного сечения материала стержня и область экспериментальных значений (2) после прохождения двух электродинамических систем микроволновой установки.

Заключение

Предложена конструкция и метод расчёта микроволновой установки типа бегущей волны, которая формирует равномерное распределение температуры по поперечному сечению диэлектрического материала стержня. Экспериментальными исследованиями установлено, что уровень побочных излучений от микроволновой установки, благодаря принятым мерам, не

превышал 10 мкВт/см², что ниже допустимых пределов для излучения из установок такого рода.

Библиографический список

1. Берлин А. А. Современные полимерные композиционные материалы / А. А. Берлин // Соросовский образовательный журнал. – 1995. – № 1. – С. 57–65.
2. Современные базальтовые волокна и полимерные композиционные материалы на их основе : обзор / А. А. Далинкевич [и др.] // Конструкции из композиционных материалов. – 2010. – № 2 – С. 37–54.
3. Кербер М. Л. Полимерные композиционные материалы: структура, свойства, технология : учеб. пособие / М. Л. Кербер, В. М. Виноградов, Г. С. Головкин ; под ред. А. А Берлина. – Санкт-Петербург : Профессия, 2008. – 560 с.
4. Кубракова И. В. Микроволновое излучение в аналитической химии. Возможности и перспективы использования / И. В. Кубракова // Успехи химии. – 2002. – Т. 71, № 4. – С. 327–340.
5. Бикбулатов И. Х. Микроволновое излучение и интенсификация химических процессов : монография / И. Х. Бикбулатов, Н. С. Шулаев, С. Ю. Шавшукова ; ред. Д. Л. Рахманкулов. – Москва : Химия, 2003. – 220 с.
6. Effect of curing method on physical and mechanical properties of araldite DLS 772/4 4 DDs epoxy system / Babatunde Bolasodun [et al.] // International journal of scientific & Technology research. – 2013. –Vol. 2, I. 2. – P. 12–18.
7. Девяткин И. И. Замедляющие системы для СВЧ нагрева диэлектрических стержней / И. И. Девяткин, М. А. Иванов, В. П. Кирюшин // Электронная техника. Серия 1. Электроника СВЧ. – 1972. – № 5. – С. 106–111.
8. Микроволновые технологии : монография / А. В. Мамонтов [и др.] ; НИИ перспективных материалов и технологий МИЭМ (ТУ). – Москва : НИИ ПМТ, 2008.– 308 с.